



Open Archive Toulouse Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of some Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author's version published in: <https://oatao.univ-toulouse.fr/20174>

To cite this version :

Lemoussu, Sophie and Chaudemar, Jean-Charles and Vingerhoeds, Rob A. Proposition pour une Démarche de Modélisation des Processus. (2018) In: 12ème Conférence Internationale de MODélisation, Optimisation et SIMulation - MOSIM'18, 27 June 2018 - 29 June 2018 (Toulouse, France). (Unpublished)

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator:

tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Proposition pour une Démarche de Modélisation des Processus

S. LEMOUSSU

J.C. CHAUDEMAR, R.A. VINGERHOEDS

ISAE - SUPAERO / DISC

sophie.lemoussu@isae-supaero.fr

STAR ENGINEERING

sophie.lemoussu@star-engineering.fr

ISAE - SUPAERO / DISC

jean-charles.chaudemar@isae-supaero.fr

rob.vingerhoeds@isae-supaero.fr

RÉSUMÉ : *Le secteur aéronautique voit actuellement arriver de nouveaux types d'entrants, des systémiers innovants, en majorité des Petites et Moyennes Entreprises (PME), souhaitant développer et commercialiser de nouveaux moyens de transport. Des projets comme les dirigeables, les drones civils de transports de marchandises, les drones dits « taxi aérien », deviennent ainsi des préoccupations sérieuses pour tous les acteurs du marché où la sécurité des personnes et des infrastructures est un enjeu majeur. Dans ce cadre, le processus de certification, cœur de l'activité aéronautique, demeure une activité critique. Le secteur aéronautique est une industrie très structurée, organisée selon de nombreuses règles, normes et standards qui ne facilitent pas l'arrivée de ces nouveaux acteurs. Les PME concernées requièrent un support méthodologique pour les accompagner dans leurs développements et faire face à la complexité du marché. Nous proposons d'aborder la problématique par une approche d'ingénierie système basée sur les modèles et une modélisation hiérarchisée des processus d'entreprise.*

MOTS-CLÉS : *Aéronautique, certification, modélisation des processus, gestion de projet, PME, ingénierie système.*

1 INTRODUCTION

Les Petites et Moyennes Entreprises (PME) du secteur aéronautique constituent une part non négligeable de la bonne croissance de l'industrie aéronautique (GIFAS 2017). Historiquement, dans ce secteur, et pas uniquement en France, les PME sont en majorité des entreprises dites sous-traitantes qui travaillent pour le compte de plus grandes entreprises qui peuvent être des systémiers (c'est-à-dire des constructeurs ensembliers, appelés aussi intégrateurs), des motoristes ou de grands équipementiers.

Ces dernières années, le secteur aéronautique évolue avec l'émergence de nouveaux types d'aéronef et de nouvelles entreprises qui portent ces projets innovants. En effet des PME, voire parfois même de Très Petites Entreprises (TPE), s'emparent du rôle de systémier en proposant de nouveaux moyens de transport, alternatifs à ceux que nous connaissons. Plusieurs entreprises proposent par exemple de faire revivre des machines comme les dirigeables (Flywing Whales, HAV, Stratobus, ...). D'autres souhaitent exploiter le potentiel des drones et élargir ce marché avec des applications diverses le plus souvent liées au transport de marchandises (Fly Win, NATAC, ...).

Ces TPE/PME doivent comme les grands groupes répondre aux problématiques réglementaires aéri-

ennes et fournir aux instances responsables toutes les preuves suffisantes de fiabilité et de sécurité de leur système. En effet, pour tout aéronef, si son constructeur souhaite l'opérer et/ou le commercialiser, une étape cruciale est à franchir, celle de l'acquisition de son certificat de type et de tous les agréments imposés par la réglementation (EASA, FAA, CAAC, ...).

Pour les grands systémiers de la filière aéronautique cette étape de certification reste un challenge lorsqu'il s'agit d'un nouvel avion de ligne mais le risque est le plus souvent largement maîtrisé (Boeing 2011, Airbus 2017). En effet, dans ces entreprises, les équipes sont rodées, la connaissance des textes est documentée et partagée, une culture de la navigabilité est profondément intégrée au quotidien, dans toutes les tâches effectuées. La connaissance actuelle de ces organisations a été acquise au fur et à mesure, capitalisée au travers d'outils collaboratifs de gestion documentaire, de méthodes de retours sur expérience, de processus de gestion de la connaissance, etc.

Les nouveaux entrants sur le marché aujourd'hui n'ont pas cette expérience et doivent rapidement se forger la maturité organisationnelle nécessaire pour comprendre et se conformer à l'intégralité de la réglementation, en très peu de temps. Ces entreprises, de part leurs objectifs, ont des besoins très particuliers ; elles doivent pouvoir modifier leurs processus

de manière dynamique pour pouvoir se développer ; elles doivent être capables de gérer des modifications très importantes pour pouvoir s'adapter aux évolutions technologiques. Et en même temps elles doivent acquérir la confiance des organismes de certification.

Notre travail de recherche s'inscrit dans ce contexte complexe et propose une démarche d'ingénierie système dirigée par les modèles pour répondre aux objectifs de la certification aéronautique. Ce travail n'aborde pas explicitement la problématique d'architecture des systèmes d'information de l'entreprise même si nos résultats pourront contribuer à leur conception.

Cet article s'organise selon trois sections principales. Après une présentation générale de concepts issus de l'ingénierie système dans la section 2, la problématique de la modélisation des processus est introduite dans la section 3. S'appuyant sur le contenu des sections 2 et 3, la section 4 expose la démarche globale de la recherche en cours et ses premières propositions. Enfin la conclusion formule quelques axes d'orientation pour les travaux à venir.

2 APPROCHE PAR L'INGENIERIE SYSTEME

L'ingénierie système est une approche dédiée pour le développement de systèmes complexes. Elle est historiquement déployée sur des projets spatiaux, militaires et aéronautiques. Plus récemment, cette approche attire d'autres secteurs, notamment le secteur automobile, le ferroviaire et le nucléaire. L'ingénierie système est actuellement la référence dans tous les grands groupes qui conçoivent et produisent des systèmes complexes.

Les TPE/PME ne sont pas toujours sensibilisées à l'approche système et n'y trouvent pas toujours leur intérêt alors que leurs principales considérations se trouvent concentrées au niveau de la conformité du service ou du produit fourni et des processus de réalisation nécessaires pour atteindre cet objectif. Les tentatives pour s'approprier les normes, les standards et les outils disponibles sur le marché sont le plus souvent laborieuses et coûteuses. En effet, quelles normes et quels standards sont vraiment prêts en l'état à être employés par ces petites organisations? Même si l'émergence de la norme ISO 29110 pourrait apporter une aide non négligeable pour certaines TPE/PME, plusieurs travaux (Sheard & Lake 1998, Sage & Biemer 2007, Xue, Baron, Esteban & Demmou 2014, Lemoussu, Chaudemar & Vingerhoeds 2018) tendent à prouver que les moyens à disposition ne sont pas en phase avec les attentes des entreprises du secteur aéronautique et qu'une démarche d'alignement et de synthèse doit être intensivement menée au sein de chaque organisation pour

identifier ce qui est nécessaire et suffisant pour elle spécifiquement.

L'Ingénierie Système (IS) peut se définir selon plusieurs points de vue. C'est avant tout une démarche méthodologique qui englobe l'ensemble des activités pour concevoir, faire évoluer et vérifier un système apportant une solution économique et performante aux besoins d'un client tout en satisfaisant l'ensemble des parties prenantes (AFIS 2018). Le système concerné est alors appelé le système d'intérêt. La modélisation des exigences du système, de ses fonctions, de sa structure physique est l'approche de l'Ingénierie Système Dirigée par les Modèles ou ISDM (MBSE, Model-Based Systems Engineering en anglais). S'intéressant à la fois au comportement statique et dynamique du système, cette approche permet de vérifier et valider sa conception et de mieux maîtriser le système dans son ensemble. L'approche MBSE permet de mieux contrôler les interfaces et les fonctions émergentes, c'est-à-dire toutes les fonctions qui n'étaient pas identifiées dans les besoins initiaux et qu'il va pourtant falloir soit exploiter, surveiller, ou éliminer.

2.1 Le système d'intérêt: l'organisation de l'entreprise

Au sens de l'ingénierie système, l'organisation d'une entreprise peut être vue comme un système spécifique qui peut se décomposer selon différentes ressources (humaines, physiques et matérielles, immatérielles, financières, énergétiques,...). Cette organisation a pour but de rendre atteignables un ensemble d'objectifs au travers des processus mis en œuvre au sein de l'entreprise. Une organisation peut alors se décrire selon un ensemble de processus qui interagissent entre eux pour atteindre un ou plusieurs objectifs. Pour nos travaux, le système d'intérêt n'est pas le système à faire (un aéronef innovant) ni le système pour faire (le système d'information qui supporte les activités) mais l'organisation telle qu'elle est attendue du point de vue de la certification.

2.2 Les objets à modéliser: les processus de l'entreprise

Contrairement aux systèmes généralement traités par l'IS, le système à faire, un processus d'entreprise sera toujours un concept abstrait, qui n'aura pas de réalité physique, et qui sera donc immatériel tout au long de sa vie. Les processus sont cependant des preuves tangibles qui témoignent du niveau de complexité de l'organisation. Les formaliser puis les analyser permet de mieux les comprendre et de les améliorer. La modélisation de ces objets constitue la garantie d'une représentation simplifiée mais lisible et partageable au sein de l'entreprise.

Les activités d'identification, d'analyse et d'implémentation des processus connue sous le nom de BPM (Business Project Management) incluent généralement l'activité de modélisation des processus. Cette dernière permet d'aller plus loin dans l'analyse et permet d'identifier notamment des incohérences, des répétitions, des goulots d'étranglement, etc. Les processus, souvent décrits avec un langage naturel dans les entreprises et plus particulièrement dans les TPE/PME, méritent d'être modélisés de manière plus formelle pour déterminer leurs interdépendances et les éventuels obstacles à leur bon fonctionnement.

A l'instar d'autres travaux (Bron & Salzemann 2015), la démarche IS est utilisée ici pour la conception des processus. Les étapes suivantes font donc partie intégrante de notre travail de recherche: la définition des besoins du marché, l'analyse des exigences du secteur aéronautique, une conception de l'architecture des processus, la modélisation des processus, la vérification et la validation des modèles produits.

3 MODELISATION DES PROCESSUS

La modélisation des processus permet de mieux maîtriser les activités de l'entreprise et exerce un contrôle naturel sur leur efficacité. Toutes choses égales par ailleurs, chaque exécution du même processus, chaque instance, devrait être similaire. En réalité, chaque exécution de processus génère des instances souvent différentes. Car en plus du séquençement, les tâches sont exécutées selon des contraintes de ressources ou de temps, qui peuvent varier en fonction du contexte. Certaines contraintes peuvent constituer des règles métier. Il convient d'être capable de vérifier que les processus sont conformes à ces règles. Il s'agit donc d'être aussi capable de modéliser ces règles qui vont finalement régir les décisions prises au sein des processus. Il s'agit aussi d'être capable de modéliser les résultats issus de ces stratégies décisionnelles et in-fine la performance de l'organisation.

3.1 Les objectifs et les différents points de vue de la modélisation des processus

Les objectifs de la modélisation doivent être bien identifiés en amont de l'activité de modélisation. Ils peuvent inclure de mieux les comprendre, les documenter, les analyser, les améliorer, les optimiser, les partager, les communiquer, les surveiller, les auditer, les exécuter, les simuler, les mesurer, en sous-traiter certains, etc.

Notre démarche se concentre principalement sur les trois premiers objectifs: comprendre les processus d'intérêt, en proposer une documentation détaillée, afin de mieux pouvoir les analyser. D'autres objectifs tels que optimiser les processus pour les TPE/PME

et partager la démarche auprès de la communauté du secteur aéronautique constituent des objectifs majeurs pour valider notre approche.

La modélisation des processus nécessite aussi de faire un choix de point de vue. Il existe dans la littérature plusieurs points de vue différents (Hug, Front, Rieu & Henderson-Sellers 2009) qui sont :

- le point de vue Activité - le modèle se concentre sur la description des Activités et des Tâches, produites par des Rôles, assurés par des Acteurs, qui utilisent des Ressources en Entrée et génèrent des Produit de Sortie,
- le point de vue Produit - le modèle s'attache à décrire les différents états d'évolution d'un Produit, les phases de transition, ainsi que les processus pour atteindre ces états,
- le point de vue Stratégie - chaque Stratégie est définie par des Intentions qui sont soit des Sources soit des Cibles,
- le point de vue Contexte - le concept de Contexte résulte de la combinaison du Concept de Situation et du Concept d'Intention,
- le point de vue Décision - le modèle est construit selon une succession de Décisions qui produisent des Alternatives, justifiées par des Preuves.

Le choix d'un unique point de vue simplifie la modélisation. Cependant, il pourrait être intéressant de pouvoir combiner plusieurs points de vue pour proposer des modèles plus en phase avec la complexité de la réalité à modéliser. La littérature identifie ainsi trois propriétés issues des choix de combinaison (Hug et al. 2009):

- un modèle est multi-vues, si plusieurs points de vue sont disponibles,
- il est unifié, si tous les concepts nécessaires sont groupés dans un seul modèle,
- il est adapté, s'il est construit pour un type d'entreprise ou un contexte particulier; cela signifie que tous les concepts ont leur utilité et qu'aucun ne manque.

A ce stade d'avancement de nos recherches, notre choix de modélisation est orienté Activité. Cependant l'orientation Produit et l'orientation Décision pourront apporter des dimensions intéressantes à la modélisation où le cycle de vie du Produit devra être pris en compte et où les nombreuses règles métier pourront amener à identifier des chemins décisionnels différents. Un modèle multi-vues, unifié et adapté sera notre cible.

3.2 Les langages de modélisation des processus

Pour engager une activité de modélisation, le choix du langage est majeur. Tout langage de modélisation va se construire à partir de trois éléments principaux :

- une notation ou en ensemble de symboles,
- des règles sémantiques,
- des règles de syntaxe.

Ces éléments peuvent être plus ou moins riches, plus ou moins complexes selon la capacité du langage. Ils doivent cependant être embarquées dans une application logicielle, un outil capable de proposer la manipulation du langage.

De nombreux langages et de nombreux outils existent mais la plupart, surtout ceux utilisés dans l'industrie, n'ont pas de sémantique formelle. Or cette propriété est essentielle pour une analyse des processus efficace et l'assurance de la cohérence, la complétude et l'exactitude. Cet article n'a pas la volonté de présenter de manière exhaustive tous les langages disponibles (voir Lemoussu, Chaudemar, Vingerhoeds 2018).

Le BPMN ou Business Process Model Notation (OMG 2014) est le langage le plus couramment répandu dans l'industrie et pour de nombreuses références, il s'agit d'un standard "de facto" pour la modélisation des processus (Martins & Zacarias 2015, Kheldoun, Barkaoui & Ioualalen 2017). Sa force est avant tout sa grande capacité de représentation grâce à de nombreux outils graphiques (Recker, Rosemann, Indulska & Green 2009). Cependant le BPMN gère difficilement la contrainte du temps et souffre d'un manque de sémantique formelle. Cette faiblesse peut conduire à des inconsistances, des ambiguïtés et des incomplétudes dans le développement des modèles, avec de surcroît la difficulté de les identifier (Dijkman, Dumas & Ouyang 2008).

Les Réseaux de Pétri (RdP) (Recker et al. 2009) constitue un langage de modélisation semi-graphique pour le développement des systèmes à événements discrets, en particulier pour les systèmes où les événements sont parallèles et/ou distribués et où leur concurrence est une caractéristique importante. Les RdP permettent de représenter les processus d'une manière non ambiguë grâce à une sémantique extrêmement simple et formelle composée de trois types d'éléments: les Places, les Transitions et les Flèches, qui relient les deux premiers. Le concept de Jetons présent dans la définition de ce langage permet à la fois d'assurer la fonctionnalité de vérification du modèle et de simulation. Ils sont Turing-Complet et en ce sens ils permettent de modéliser n'importe quel algorithme. Dans le cas de systèmes physiques, ils permettent de décrire le système d'intérêt étape par étape, en décomposant en éléments plus simples les éléments constitutifs initiaux du système. Ils permettent une analyse détaillée des propriétés du système et de sa performance. Pour le cas de la modélisation des processus, les RdP sont notamment utilisés dans les travaux de Process Mining, comparable au Data Mining mais avec pour vocation d'acquérir des connaissances sur les proces-

sus grâce aux données issues des instances (Van der Aalst 2016).

Le langage SysML ou System Modeling Language (OMG 2017) est le langage le plus couramment associé aux pratique de MBSE, car orienté système. Il permet de faire collaborer des équipes aux compétences variées autour d'un unique langage. Il s'articule autour de neuf types de diagramme dont les sémantiques sont différentes et apporte une approche multi-vues du système. SysML est semi-formel, ce qui apporte plusieurs avantages. Il offre à la fois une grande souplesse d'expression et permet de structurer le processus de modélisation. SysML permet aussi une grande liberté d'implémentation dans les outils car il n'intègre pas de méthode spécifique. La syntaxe peut être facilement adaptée pour modéliser des systèmes particuliers ou s'incorporer dans des méthodes spécifiques de développement (Saqui-Sannes, Vingerhoeds & Apvrille 2018).

Le BPMN, les RdP et le SysML sont appropriés pour formaliser des activités concourantes. Le BPMN et le SysML sont les plus visuels dans leur capacité de représentation grâce à l'usage des canaux ou piscines. Mais choisir un langage, c'est aussi faire un choix de point de vue. Il sera sans doute profitable d'avoir une approche complémentaire en utilisant plusieurs langages pour combiner différents points de vue. Aussi l'activité de modélisation est une activité critique qui nécessite de la rigueur certes mais aussi une méthode. Ces langages ne constituent pas des méthodes. Au delà du choix du langage, il est nécessaire de compléter l'approche pour améliorer les modèles produits et y adjoindre notamment des méthodes de vérification. La métamodélisation par exemple peut aider au développement de modèles consistants et complets

3.3 L'approche par la métamodélisation

La métamodélisation est l'approche que propose l'OMG (Object Management Group) qui, dans ses travaux de normalisation, décompose la démarche de modélisation en 4 niveaux où (Figure 1):

- le niveau M0 correspond au niveau le plus bas de la modélisation avec la création des instances,
- le niveau M1 correspond au niveau des modèles,
- le niveau M2 correspond au niveau du méta-modèle,
- le niveau M3 correspond au niveau le plus haut avec la définition du méta-métamodèle.

L'OMG propose un ensemble d'outils, de langage, de méthodes pour modéliser des produits et des processus. Tous sont conformes à cette approche étagée. La démarche assure ainsi que chaque niveau est conforme au niveau supérieur. En revanche l'OMG propose un seul et unique méta-métamodèle, le MOF (Meta-Object Facility), qui s'autodéfinit et permet de définir

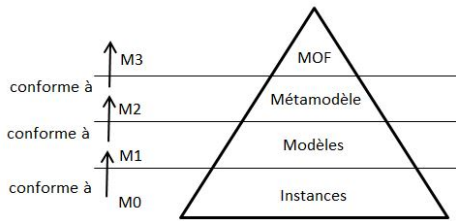


Figure 1 – Schéma de principe des 4 niveaux de modélisation issus des travaux de l'OMG

plusieurs métamodèles, notamment des métamodèles orientés Produit comme le métamodèle UML, le métamodèle SysML, des métamodèles orientés Processus comme le métamodèle SPEM (Software Process Engineering Metamodel, 2008) ou le BPDM (Business Process Definition Metamodel, 2008). L'OMG propose aussi d'autres types de métamodèle: par exemple le QVT, dédié à la transformation de langages, le XMI (XML Metadata Interchange), standard pour les échanges entre modèles et méta-modèles, l'OCL (Object Constraint Language), langage de contraintes sur modèles, ... Tous ces métamodèles de niveau M2 sont conformes au MOF. Les modèles produits au niveau M1 en se conformant au métamodèle de niveau M2 s'assurent d'être bien structurés et cohérents. De même les instances produites au niveau M0 en se conformant à un modèle de niveau M1, conforme lui-même au niveau M2, s'assurent d'être bien structurés et cohérents.

Même si le MOF de l'OMG n'est pas devenu un véritable standard en tant que tel, il fait figure de référence. Ainsi tous les autres métamodèles proposés, que ce soit du côté académique ou industriel, proposent une structure similaire qui se détermine en trois parties avec (Cadavid, Combemale & Baudry 2015):

- l'identification de concepts clés,
- la définition des relations qui relient les concepts entre eux,
- la création d'un ensemble de règles pour assurer une cohérence dans les modèles construits.

Il existe très peu de métamodèles de processus, la majorité sont plutôt orientés Activité. Le SPEM et le BPDM sont les principaux. Ce dernier construit pour supporter la sémantique du langage BPMN avait pour objectif initial de devenir un métamodèle générique pour la métamodélisation des processus. Malheureusement le BPDM n'inclut pas certains concepts qui nous semblent importants: l'objectif des processus n'est pas pris en compte, la catégorisation des processus non plus (Cruz-Cunha & Varajao 2011). Le métamodèle SPEM est construit selon une extension du profil UML. De fait, il est orienté objet et sa structure globale se présente sous forme de paquets UML (Cf. Figure 2). En plus d'être orienté objet, il

est très nettement orienté développement logiciel. Il ne prend pas en compte la particularité du développement des systèmes complexes qui présuppose la décomposition en sous-systèmes et la nécessité de collaborer entre équipes.

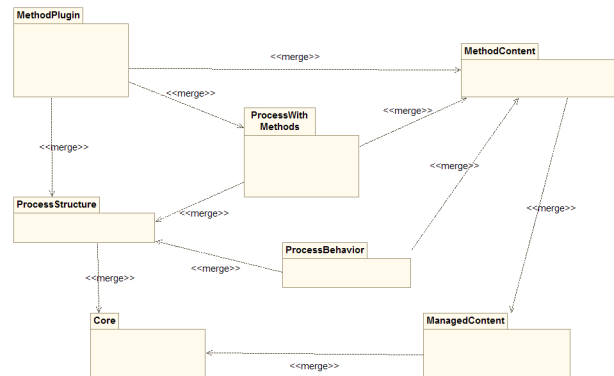


Figure 2 – La structure du SPEM V2.0 (2008)

Il existe plusieurs variantes du SPEM. Notamment le SysPem utilise le langage SysML à la place de l'UML. Il propose un nouveau métamodèle complet qui permet d'assurer une cohérence inter-modèles plus grande et une modélisation plus riche en détail et en niveau de granularité (Jakjoud, Zrikem, Baron & Ayadi 2016).

Tous les métamodèles ne sont pas fournis par l'OMG. D'autres métamodèles de processus ont été développés par d'autres organisations. Par exemple, le métamodèle OPF (Open Process Framework, 2005) proposé par le Consortium OPEN (Object-oriented Process, Environment and Notation) a ouvert un champ de recherche qui a permis de fournir d'autres propositions comme l'EPF (Eclipse Process Framework) ou OpenUp. L'OPF a l'avantage d'être compatible avec plusieurs formalismes (UML, OML, Object-Z...) mais toujours orienté objet. L'inconvénient principal est qu'il ne différencie pas toujours bien la limite entre chaque niveau de modélisation, notamment métamodèle /modèle. Enfin l'OPF ne propose pas de méta-métamodèle.

A ce stade de la recherche, nous n'avons identifié aucun métamodèle satisfaisant les besoins de la certification. Les métamodèles existants présentent des points de vue et des concepts différents qu'il est difficile de faire correspondre. Par ailleurs, ils sont le plus souvent difficilement adaptables.

4 DEMARCHE PROPOSEE

4.1 Les objectifs

S'appuyant sur une approche MBSE, notre travail de recherche a pour objectif de formaliser les processus de développement dans le cadre d'un projet de con-

ception d'un nouvel aéronef. Ce travail a donc pour vocation de proposer une cartographie des processus nécessaires et une démarche structurée mais simplifiée et adaptée au contexte des TPE/PME intégrateurs du secteur aéronautique. Ce rôle d'intégrateur signifie que ces entreprises ont un rôle de maîtrise d'ouvrage, et en ce sens elles ont nécessairement plus de responsabilités vis-à-vis de leurs sous-traitants et du processus de certification qui devient central dans la démarche. Par un ensemble de modèles, les exigences, qui incombent à une entreprise pour atteindre une certification réussie, sont formalisées. Le travail consiste dans un premier temps à modéliser le cœur organisationnel de la certification que constitue la Partie-21, point d'entrée de la réglementation aérienne en Europe. Elle permet de certifier des organismes de conception et de production. La certification est le processus qui permet de reconnaître la capacité d'une organisation à se conformer à la Partie-21, à concevoir et à produire des aéronefs, des pièces et équipements avec un niveau de sûreté suffisant, calculé en fonction de scénarios fonctionnels pré-définis. Elle comprend aussi les exigences et procédures relatives à la certification des aéronefs et de ses produits associés, des pièces et des équipements. C'est le texte pour atteindre une reconnaissance légale qu'un aéronef est apte au vol et que tous ses produits associés sont aptes à être installés dans celui-ci. En revanche, ne pas s'y conformer freine sérieusement le processus de certification et met à mal le processus de commercialisation du produit. En même temps, la Partie-21 est constituée d'un ensemble d'articles agrégés, écrits en langage naturel. Ceci force à l'interprétation et peut conduire à de possibles malentendus, à des surcoûts voire même à l'échec du processus de certification.

Nous fixons trois objectifs principaux pour notre travail de recherche:

- Comprendre les processus implicitement requis par la Partie-21, les documenter, les analyser et les formaliser grâce à un langage qui possède un pouvoir d'expression suffisant pour exprimer la structure des activités et leur coordination,
- Permettre une analyse détaillée des propriétés du système formalisé obtenu grâce à un langage suffisamment formel,
- S'assurer par un processus de vérification et de validation que les modèles produits soient conformes à la Partie-21.

4.2 La démarche générale

Notre démarche s'inspire de la hiérarchisation de modélisation de l'OMG et propose une architecture à trois couches (Cf. Figure 3) et prenant en compte:

- un métamodèle,
- deux modèles: le modèle "Business" et le modèle "Projet",

- un ensemble d'instanciations au modèle "Projet".

Le modèle "Business" constitue le modèle générique qui formalise l'intégralité des exigences de la Partie-21. Le modèle "Projet" est issu du modèle "Business" et est généré par une démarche de simplification et/ou d'optimisation qui reste à élaborer. Les instanciations sont créées à partir de cas d'utilisation: des TPE/PME nouveaux intégrateurs du tissu aéronautique européen.

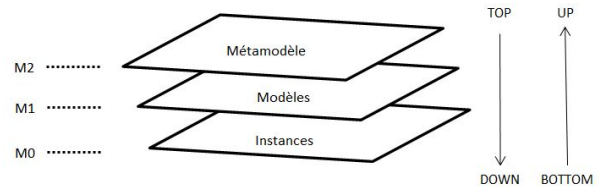


Figure 3 – La démarche générale de notre approche

De plus, l'approche de modélisation sera menée en deux étapes:

- une étape dite « Top-Down »,
- une étape dite « Bottom-Up ».

L'approche « Top-Down » sera initiée par la création du métamodèle dont une proposition est faite dans la section 4.3 suivante.

L'approche « Bottom-Up » sera initiée par l'analyse de cas d'utilisation, des TPE/PME issues du secteur aéronautique et ayant des projets innovants à faire certifier par l'EASA, l'Agence Européenne de l'Aviation Civile.

4.3 Les propositions

Une première formalisation des concepts manipulés est proposée dans cet article.

Définition 1 (Processus). Un processus est un 4-uplet (A, \rightarrow, R, a_0) , tel que:

- A représente un ensemble d'activités,
- \rightarrow est l'ensemble des interfaces entre les activités i.e. $\rightarrow \subseteq A \times A$,
- R est l'affectation univoque de ressources à des activités i.e. $R \in E \mapsto A$ (où E est un ensemble d'équipes projet, une équipe pouvant être constituée d'un seul individu),
- a_0 représente l'activité initiale.

Définition 2 (Activité). Une activité $a \in A$ est décrite par $a = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ un ensemble énuméré fini de tâches t_i .

Hypothèse. En première abstraction, on fait l'hypothèse que toutes les tâches sont atomiques, i.e. leur durée d'exécution est nulle.

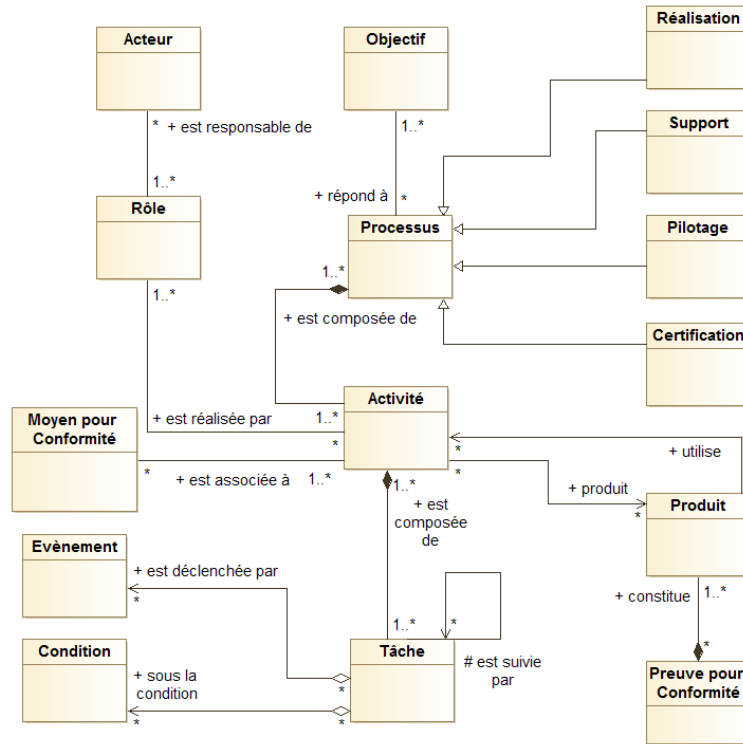


Figure 4 – Proposition de métamodèle pour la modélisation des processus

Propriété. On définit une première propriété spécifiant deux types de dépendance entre deux tâches : parallèle (symbole ||) ou séquentielle (symbole \hookrightarrow).

Des règles pour la certification pourront être formalisées et constituées de véritables règles métier. Par exemple, des propriétés de dissimilarité entre activités, équipes pourront être émises. Dans le cadre de l'approche « Bottom-Up », cette formalisation pourra servir de base pour la réalisation de tableaux de spécification de processus. Elle permettra de décrire des tableaux de type Design Structure Matrix (DSM) (Browning 2001) ou de type Software Cost Reduction (SCR) (Russo, Miller, Nuseibeh & Kramer 2000).

Dans le cadre de l'approche « Top-Down », nous proposons un métamodèle adapté, unifié et avec un point de vue unique sur les Activités. Ce métamodèle (Cf. Figure 4) est plus simple que le métamodèle SPEM proposé par l'OMG ou le métamodèle SysPEM proposé dans les travaux de Jakjoud et al. 2016 et s'oriente vers la problématique de certification des produits développés. Il s'articule autour d'une classe "Processus" qui peut être de type "Réalisation", "Support", "Pilotage" ou "Certification". Chaque Processus, répondant à au moins un "Objectif", est composé d'au moins une "Activité" qui elle-même :

- est composée d'au moins une "Tâche",
- est réalisée par au moins un "Rôle" dont chacun peut être affecté à un "Acteur",
- peut utiliser des ressources "Produit", issues d'autres processus et peut produire des livrables

"Produit", qui peuvent devenir des sources d'entrée pour d'autres activités.

- peut être associée à des moyens pour atteindre la conformité au processus de certification,

Par ailleurs, chaque "Tâche" peut être déclenchée par un "Évènement", sous certaines conditions. Aussi Chaque "Produit" peut constituer une composante de preuve de conformité pour le processus de certification.

5 CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

Notre objectif est de proposer une approche système structurée mais simplifiée pour s'adapter au cas des TPE/PME. Notre approche s'oriente dans un premier temps vers le secteur aéronautique, où une demande méthodologique émerge chez les TPE/PME intégrateurs. Cette approche pourra facilement se déployer sur d'autres secteurs où la réglementation est une contrainte forte. Dans tous les cas, nous proposons une architecture de modélisation en trois couches : M0, M1, M2. Le métamodèle M2 permettra de répondre aux considérations liées à la consistance des modèles produits et à leur complétude. Les modèles générés au niveau M1 devront être conformes au métamodèle M2. Les instances M0 issues de ces modèles permettront de valider la démarche globale par une étape bottom-up. Les travaux à venir vont se focaliser sur l'approfondissement du métamodèle. Par ailleurs, s'appuyant sur la complémentarité de différents langages de modélisation tels que BPMN,

Réseaux de Pétri et SysML, des modèles de niveau M1 vont être construits et deux modèles majeurs seront proposés. Un modèle générique appelé modèle "Business" et un modèle simplifié pour les TPE/PME appelé modèle "Projet". L'approche par la transformation des langages et l'utilisation de patrons pourront être envisagée pour s'assurer de la convergence des résultats. Enfin l'intégration de paramètres techniques et de critères tels que la taille de l'entreprise, les types de ressources à affecter, la complexité du produit final pourrait permettre le développement d'un modèle paramétrique, qui conduirait à une optimisation des activités en adéquation avec l'entreprise et son produit.

REFERENCES

- AFIS (2018). www.afis.fr, consulté le 11-04-2018.
- Airbus (2017). Airbus A350-1000 receives EASA and FAA type certification, www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2017/11/airbus-a350-1000-receives-easa-and-faa-type-certification-.html, consulté le 11-04-2018.
- Boeing (2011). Certifying Boeing's airplanes, 787updates.newairplane.com/certification-process, consulté le 11-04-2018.
- Bron, J.-Y. & Salzemann, B. (2015). Démarche d'ingénierie système pour les systèmes de management, Tanger, Morocco.
- Browning, T. R. (2001). Applying the design structure matrix to system decomposition and integration problems: a review and new directions, *IEEE Transactions on Engineering Management* **48**(3): 292–306.
- Cadavid, J. J., Combemale, B. & Baudry, B. (2015). An analysis of metamodeling practices for MOF and OCL, *Computer Languages, Systems & Structures* **41**: 42–65.
- Cruz-Cunha, M. M. & Varajao, J. (2011). Enterprise information systems design, implementation and management: organizational applications.
- Dijkman, R. M., Dumas, M. & Ouyang, C. (2008). Semantics and analysis of business process models in BPMN, *Information and Software Technology* **50**(12): 1281–1294.
- GIFAS (2017). Rapport Annuel 2016-2017, *Technical report*.
- Hug, C., Front, A., Rieu, D. & Henderson-Sellers, B. (2009). A method to build information systems engineering process metamodels, *Journal of Systems and Software* **82**(10): 1730–1742.
- Jakjoud, A., Zrikem, M., Baron, C. & Ayadi, A. (2016). SysPEM: Toward a consistent and unified system process engineering metamodel, *Journal of Intelligent Manufacturing* **27**(1): 149–166.
- Kheldoun, A., Barkaoui, K. & Ioualalen, M. (2017). Formal verification of complex business processes based on high-level Petri nets, *Information Sciences* **385–386**: 39–54.
- Lemoussu, S., Chaudemar, J.-C. & Vingerhoeds, R. (2018). Systems engineering and project management process modeling in the aeronautics context: the smes study case, *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering Vol:12, No:2*.
- Martins, P. V. & Zacarias, M. (2015). Business Process and Practice Alignment Meta-model, *Procedia Computer Science* **64**: 314–323.
- OMG (2014). Business process model and notation, version 2.0.2, *Object Management Group*, www.omg.org.
- OMG (2017). System modeling language, version 1.5, *Object Management Group*, www.omg.org.
- Recker, J., Rosemann, M., Indulska, M. & Green, P. (2009). Business Process Modeling- A Comparative Analysis, *Journal of the Association for Information Systems* **10**(4).
- Russo, A., Miller, R., Nuseibeh, B. & Kramer, J. (2000). An Abductive Approach for Handling Inconsistencies in SCR Specifications, (*ICSE2000*) *International Workshop on Intelligent Software Engineering*, Limerick, Ireland.
- Sage, A. P. & Biemer, S. M. (2007). Processes for System Family Architecting, Design, and Integration, *IEEE Systems Journal* **1**(1): 5–16.
- Saqui-Sannes, P., Vingerhoeds, R. & Apvrille, L. (2018). Early checking of sysml models applied to protocols, *MOSIM 2018, accepté pour publication*.
- Sheard, S. A. & Lake, J. G. (1998). Systems engineering standards and models compared, *Proceedings of the Eighth International Symposium on Systems Engineering, Vancouver, Canada*, pp. 589–605.
- Van der Aalst, W. M. P. (2016). *Process mining. Data Science in Action*, Springer Berlin Heidelberg.
- Xue, R., Baron, C., Esteban, P. & Demmou, H. (2014). Managing systems engineering processes: A multi-standard approach, *2014 IEEE International Systems Conference Proceedings*, pp. 103–107.